

УДК 519.854.2

ПАВЛОВ О.А.,
МІСЮРА О.Б.,
МЕЛЬНИКОВ О.В.,
ЩЕРБАТЕНКО О.В.,
МИХАЙЛОВ В.В.

ЗАГАЛЬНА СХЕМА ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ОБ'ЄКТАМИ, ЩО МАЮТЬ МЕРЕЖНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ Й ОБМЕЖЕНІ РЕСУРСИ

Представлена схема реалізації інформаційної технології планування та управління у системах з мережним представленням технологічних процесів та обмеженими ресурсами (МПТПОР), на основі якої створено комплекси послідовних взаємозв'язаних математичних моделей, сумісних з ієрархією рішень, що приймаються на кожному рівні планування, та системи нових високоефективних взаємозв'язаних алгоритмів розв'язання задач планування в сучасних умовах. Це вперше дозволило розв'язати задачу планування за різними критеріями оптимальності у комплексі.

The realization scheme of the informational technology for planning and management in systems with the network imagination of technological processes and the limited resources (NITPLR) is given. On the basis of the scheme the complexes of sequential interconnected mathematical models which are compatible with the hierarchy of decisions that made on every planning level, and the systems of new highly effective interconnected algorithms for the planning tasks solution in current conditions were created. This has let in the first time to solve the task of planning by different optimality criteria in complex.

Вступ

Постановкам задач планування та управління складними об'єктами та методам їх розв'язання в останні десятиліття приділяється істотна увага з боку багатьох дослідників. Найбільш добре вивчена область планування та управління складними об'єктами – виробниче планування та управління, підходи до якого та отримані результати також мають силу для інших областей – наприклад, в будівництві та в управлінні проектами. Найбільш широке поширення (до 80% усіх підприємств) одержали системи з мережним представленням технологічних процесів та обмеженими ресурсами (МПТПОР). У даній статті розглядається схема реалізації інформаційної технології планування та управління у таких системах.

Загальна постановка задачі планування

Нехай задана множина n комплексів взаємозв'язаних робіт $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ (комплекс робіт J_i , $i = \overline{1, n}$, надалі називається завданням). На кожній підмножині J_i заданий частковий порядок орієнтованим ациклічним графом. Часткова упорядкованість очевидним образом визначається технологією виконання комплексу робіт. Кожна наступна робота мо-

же початись тільки по завершенню попередніх робіт. Вершини графа відповідають роботам, зв'язки вказують на відносини передування. Кінцеві вершини відповідають завершенню виконання завдань. Для кожної вершини j графа відома l_j – детермінована тривалість виконання (інтегрований показник, що відображає виділені ресурси – матеріальні, людські, виробничі), для кожної роботи $j^i \in I$ (I – множина кінцевих вершин) задана вага $\omega_i = \omega_j^i$; для окремих завдань заданий директивний строк закінчення D_i . Величина ваги визначається потенційною складністю, важливістю і неоднозначністю (для робіт, зв'язаних з необхідністю одержання нового наукового розв'язку) виконання тих робіт, без яких у цілому завдання не може бути виконано. Для виконання робіт застосовується множина обмежених ресурсів. Сукупність ресурсів і виконавців розділена на окремі, досить автономні модулі – *мультиресурси* (мультиресурс – стійка група разом працюючих ресурсів – наприклад, бригада, група однотипного устаткування, однопрофільний підрозділ). Мультиресурси можуть знаходитися як в одній, так і в різних організаціях.

Необхідно побудувати погоджений план виконання комплексів робіт мультиресурсами

та розподіл виконання робіт по ресурсах, з урахуванням наступних критеріїв оптимальності і їх комбінацій:

а) мінімізація сумарного зваженого моменту закінчення виконання завдань (задача 1);

б) мінімізація сумарного часу виконання всіх завдань проекту (задача 2);

в) виконання завдань без порушення директивних строків D_i (планування «точно в строк», задача 3);

г) мінімізація сумарного зваженого моменту закінчення виконання завдань, якщо для деяких завдань $i \in \overline{1, n}$ не можуть бути порушені директивні строки D_i (задача 4);

д) мінімізація сумарного зваженого запізнення виконання завдань відносно директивних строків: $\omega_i \max(0, C_i - D_i) \rightarrow \min$, де C_i – момент закінчення виконання комплексу робіт J_i , $i = \overline{1, n}$ (задача 5);

е) мінімізація сумарного зваженого запізнення виконання завдань відносно директивних строків, якщо для деяких завдань $i \in \overline{1, n}$ директивні строки D_i не можуть бути порушені (задача 6); ж) мінімізація сумарного зваженого випередження та запізнення відносно директивних строків: $\omega_i |C_i - D_i| \rightarrow \min$ (задача 7).

У задачах без директивних строків ω_i позначає вагу комплексу робіт, яка дорівнює вазі кінцевої вершини, а в задачах з директивними строками ω_i позначає штраф за відхилення від директивного строку на одиницю часу.

Назвемо *агрегованої роботою* сукупність робіт, виконуваних в одному мультитресурсі в рамках одного заходу в мультитресурс по одному завданню.

Задачі 1–7 розв'язуються при наступних обмеженнях:

- тривалість виконання кожного завдання визначається його критичним шляхом;
- спільні агреговані роботи різних завдань лежать на їх критичних шляхах і виконуються в одному мультитресурсі;
- агрегована робота не передається в інші мультитресурси до її повного завершення.

Задачі 1–7 належать до класу *NP-складних* задач у сильному розумінні.

Трирівнева модель планування та управління складними об'єктами

В основу планування та управління складними об'єктами покладено математичне забезпечення трирівневої моделі планування та управління дрібносерійним виробництвом [1], адаптоване для планування інших класів об'єктів. У відповідності до цієї моделі, побудова розподілу робіт по ресурсах здійснюється в три етапи. Перший етап складається в побудові агрегованої моделі. Якщо які-небудь роботи виконуються в одному мультитресурсі в рамках одного заходу в мультитресурс по одному завданню, то вони агрегуються в одну агреговану роботу. Тривалість виконання агрегованої роботи визначається її критичним шляхом. Для кожного комплексу робіт визначається критичний шлях виконання агрегованих робіт. На основі агрегованої інформації будується граф на критичних шляхах завдань. Вершини отриманого графа – це агреговані роботи, дуги відображають зв'язки між мультитресурсами, що регламентують технологію виконання завдань. Деякі роботи, що належать різним завданням, вимагають виконання в спеціалізованих унікальних мультитресурсах, бажано в рамках одного заходу в мультитресурс. У цьому випадку при виконанні деяких умов, описаних нижче, формується об'єднана агрегована робота, що на графі зв'язності відображено спільними вершинами. Для визначення пріоритетів завдань при побудові погодженого плану виконання завдань відповідно до критеріїв оптимальності, важливим є розв'язання на першому рівні задачі «Мінімізація сумарного зваженого моменту закінчення виконання завдань одним приладом при відношенні порядку, заданому орієнтованим ациклічним графом» (МЗМ) для випадку, коли вагові коефіцієнти усіх вершин графу зв'язності, крім кінцевих, дорівнюють нулю [2, 3]. У результаті розв'язання цієї задачі формується послідовність виконання агрегованих робіт, у якій підпослідовності агрегованих робіт упорядковані за пріоритетами, що визначають черговість запуску агрегованих робіт на виконання.

Другий етап полягає в побудові погодженого плану виконання завдань з урахуванням зазначених вище критеріїв оптимальності.

Отримані на першому рівні пріоритети агрегованих робіт служать додатковою інформацією

цією, що дозволяє значно підвищити ефективність отриманих розв'язків.

Процедури третього рівня дозволяють у відповідності з побудованим планом для агрегованих робіт побудувати розподіл робіт по ресурсах (так зване точне планування). На цьому рівні розв'язуються задачі оптимізації за критеріями:

а) Мінімізація сумарного зваженого моменту закінчення виконання завдань (Задача 1);

б) Мінімізація сумарного часу виконання всіх завдань (Задача 2);

в) Мінімізація сумарного зваженого запізнення виконання множини завдань із різними директивними строками (Задача 3);

г) Мінімізація сумарного запізнення виконання множини завдань із загальним директивним строком (Задача 4);

д) Мінімізація сумарного зваженого запізнення виконання множини завдань за умови, якщо для деяких завдань не можуть бути порушені директивні строки (Задача 5);

е) Мінімізація сумарного зваженого запізнення виконання множини завдань за умови, коли для частини завдань заборонені випередження й запізнення відносно директивних строків (Задача 6);

ж) Мінімізація сумарного зваженого запізнення виконання множини завдань за умови мінімізації числа переналагоджень в мультиресурсах (Задача 7);

з) Мінімізація сумарного запізнення виконання множини завдань відносно директивних строків (Задача 8);

и) Мінімізація сумарного зваженого випередження та запізнення відносно директивних строків (Задача 9).

Основні принципи реалізації розв'язання задач планування

Алгоритмічне забезпечення погодженого планування складається з трьох основних блоків, що відповідають трьом рівням загальної схеми планування. Нижче наведені базові принципи алгоритмів розв'язання задач у системі планування. Рівень I. Побудова моделі технологічної та конструкторської агрегації (рис. 1).

При побудові моделі технологічної агрегації виконується агрегація до рівня мультиресурсів і побудова агрегованих робіт. Використовуються наступні принципи агрегування інформації.

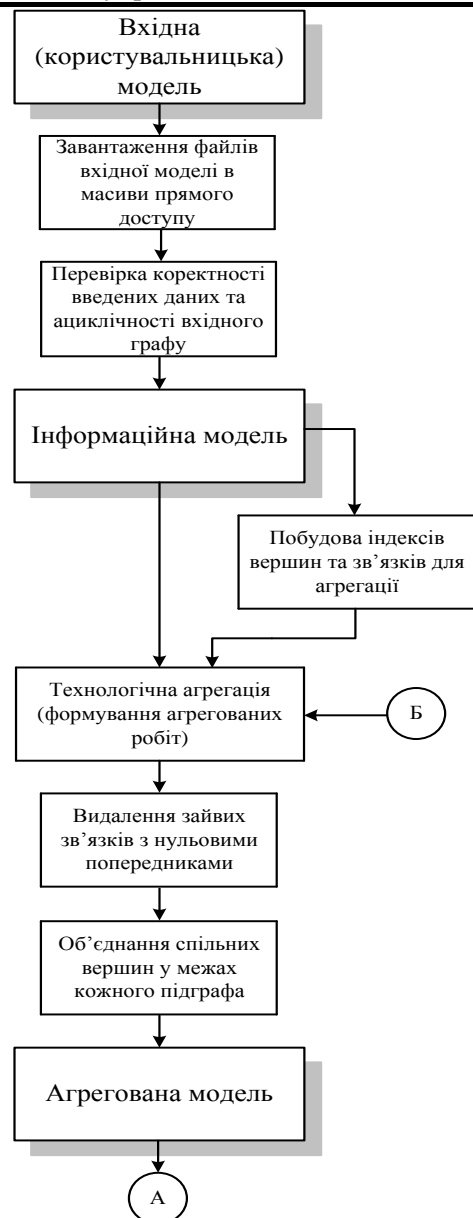


Рис. 1. Рівень I. Побудова агрегованої моделі

Вхідна модель інформації, як правило, представляє собою бази даних з інформацією про операції, взаємозв'язки між ними, групи мультиресурсів, інформацію про завдання та календар роботи (якщо інформація представлена інакше, її треба перетворити до необхідного виду). Вхідний ациклічний орієнтований граф операцій представляється у вигляді ланцюжків технологічних операцій (переліку робіт) і переліку взаємозв'язків проекту (рис. 2). Перетворення вхідного графа в граф агрегованих робіт здійснюється за допомогою процедури первинної агрегації, або агрегації агрегованих робіт. Така агрегація є агрегацією технологічного типу і робить об'єднання суміжних операцій (по технологічних ланцюжках), виконуваних в одному і тому ж мультиресурсі по одному завданню, в один елемент, названий агрегрованою роботою (рис. 4).

Тривалість виконання агрегованої роботи визначається критичним шляхом у графі виконання робіт, що входять до неї; час переналагодження для агрегованої роботи дорівнює максимальному з часів переналагодження її перших робіт (листів графа). При цьому тривалість роботи в одному завданні визначається технологією виконання роботи. Для агрегованої роботи тривалість дорівнює сумі тривалостей робіт усіх завдань у даному мультиресурсі по критичному шляху на одиницю ресурса, тобто

$$L_i = \sum_{j \in CP_i} \frac{L_{роб_{ij}} \cdot N_{роб_i} \cdot N_i}{KR_i},$$

де L_i – тривалість i -ї агрегованої роботи; $N_{роб_i}$ – кількість робіт у завданні (застосовність); $L_{роб_{ij}}$ – тривалість j -ї роботи i -ї агрегованої роботи; N_i – кількість завдань, до яких входить i -а агрегована робота; KR_i – кількість ресурсів у всіх мультиресурсах групи (з розрахунком на паралельне виконання в однотипних мультиресурсах); CP_i – критичний шлях робіт агрегованої роботи; $Lon_i = \max(\sum_{j \in CP_i} Lon_{ij}, 1)$

назвемо тривалістю *агрегованої операції*; $Non_i = \frac{N_{роб_i} \cdot N_i}{KR_i}$ – кількість агрегованих операцій в агрегованій роботі.

З вищенаведеної формули видно, що фактично тривалість агрегованої роботи виявля-

ється кратною тривалості однієї агрегованої операції, що визначається як сума тривалостей робіт по критичному шляху агрегованої роботи. Агрегована операція – найменша частина агрегованої роботи, що не допускає дроблення на більш дрібні частини.

На рис. 2 штриховою лінією позначені роботи, що об'єднуються. У колі – код (назва) роботи, поруч з ним – код групи мультиресурсів (в дужках – номер заходу). Стрілки позначають входження, числа над стрілками – кількість робіт, що потребують виконання для передачі до попередника (застосовність). На рис. 4 числа зліва від кружків позначають номер агрегованої роботи після перенумерації.

Після одержання первинних агрегованих робіт методом технологічного об'єднання може здійснюватись конструкторське об'єднання агрегованих робіт, що мають однакові коди вершин і мультиресурсів в одному завданні, час запуску яких по критичному шляху завдання відрізняється не більше, ніж на величину максимального з часів їхнього переналагодження. При цьому агреговані роботи стають однією агрегованою роботою із сумарною тривалістю і часом переналагодження, рівному максимальному з цих часів переналагодження (рис. 5).

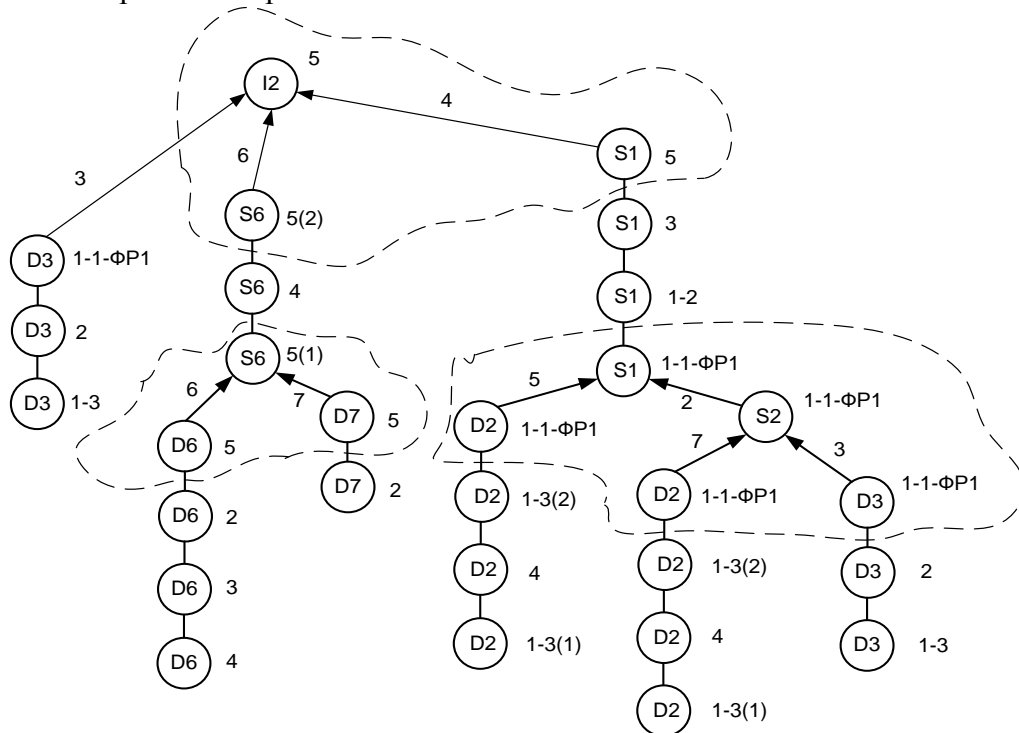


Рис. 2. Приклад вхідного графу виконання робіт та об'єднання в агреговані роботи

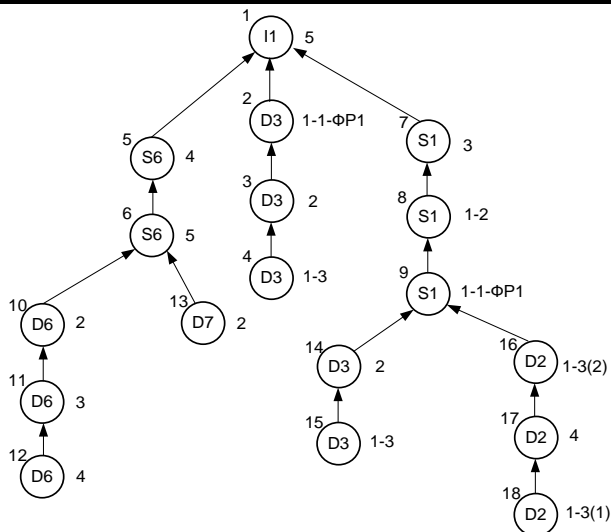


Рис. 4. Граф агрегованих робіт після технологічної агрегації

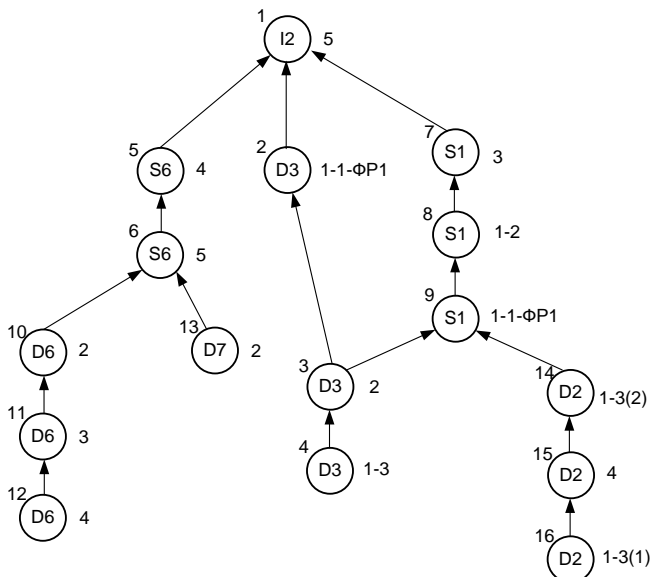


Рис. 5. Граф агрегованих робіт після конструкторської агрегації

Конструкторська агрегація здійснюється рідко, тому що вона звичайно приводить до великих довжин агрегованих робіт, що погано впливає на результат розподілу. Але об'єднання робіт у загальні вершини, що розглядається далі, також є методом конструкторської агрегації.

Рівень 2. Побудова плану виконання агрегованих робіт мультиресурсами (рис. 3, 7)

Спочатку здійснюється побудова спеціальних індексних масивів для швидкого доступу до інформації, необхідної для виконання наступних блоків. Побудована інформаційна модель називається алгоритмічною. При індексації визначаються значення окремих реквізи-

тів моделі, що відповідають критерію, обраному користувачем.

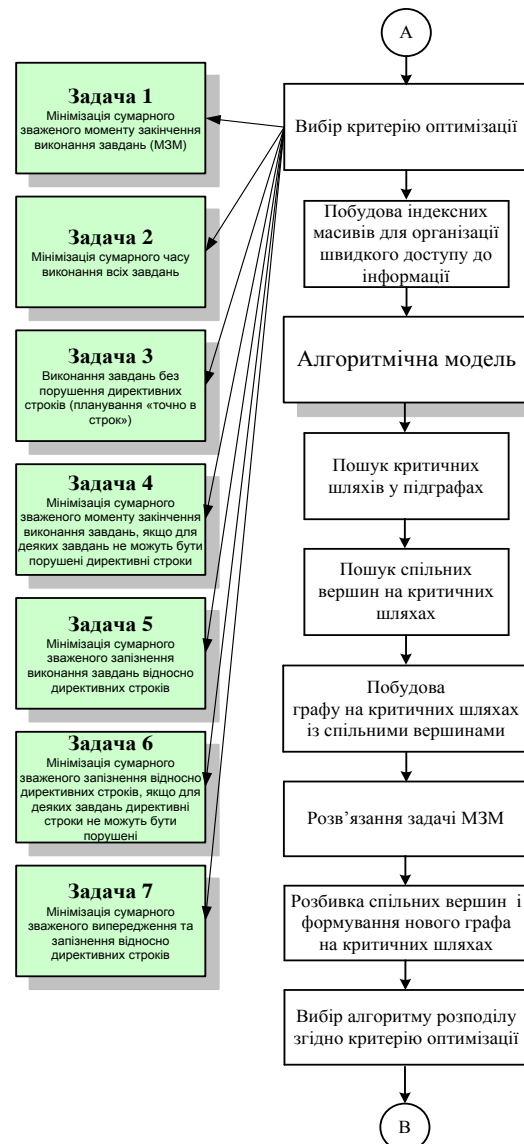


Рис. 3. Рівень II. Побудова плану виконання агрегованих робіт мультиресурсами (ч.1)

На сформованій у результаті перенумерації алгоритмічній моделі здійснюється пошук критичних шляхів завдань. Критичний шлях у графі, де кожна вершина навантажена тривалістю, – це шлях з максимальною тривалістю. Критичні шляхи шукаються за допомогою спрямованого повного перебору вершин графа агрегованих робіт. Для того, щоб був можливий пошук критичного шляху, перед його виконанням перевіряється ациклічність побудованого графа.

Після того, як знайдені критичні шляхи завдань, будується граф на критичних шляхах. Таким чином реалізується агрегування моделі до рівня «одного ресурсу». На графі на критичних шляхах розв'язується задача побудови

оптимального розкладу виконання агрегованих робіт, вважаючи, що це задача теорії розкладів для одного приладу.

Граф на критичних шляхах будується шляхом пошуку та об'єднання спільних вершин, що лежать на критичних шляхах. Ознакою спільної для двох критичних шляхів вершини є збіг кодів вершин і кодів мультиресурсів і факт відмінності тривалостей шляху від вершини до кінцевої вершини не більше, ніж на час налагодження в мультиресурсі. Побудований за такими правилами граф (рис. 6) є графом меншої розмірності, тому що він включає тільки вершини на критичних шляхах. На отриманому графі потім здійснюється побудова оптимальної послідовності.

Особливістю процедур нумерації є те, що при об'єднанні спільних вершин можуть з'явитися однакові ребра. Тому при нумерації передбачається процедура видалення однакових зв'язків. Крім того, потрібно виключити ситуації, коли поєднуються вершини, з яких не всі листові. Тоді потрібно видалити виникаючі при цьому «зайві» нульові зв'язки.

Якщо виконується планування виробничих проектів, то після побудови графа на критичних шляхах можуть бути розраховані розміри партій для кожної агрегованої роботи. Агреговані роботи розбиваються на однакове число партій (при цьому процедура розподілу найбільш проста і швидка, тому що не вимагає перегляду попередників по кожній призначеній партії і кожному спадкоємцю).

Мінімальне число партій визначається максимальною довжиною партії, рівною довжині зміни, так як не повинна бути порушена умова безперервності виконання партії. Тому мінімальна кількість партій дорівнює цілій частині максимальної з тривалостей агрегованих робіт, поділеній на довжину зміни, плюс одиниця. Нарешті, кількість агрегованих робіт у партії визначається для агрегованої роботи як тривалість агрегованої операції, помножена на кількість мультиресурсів у групі і розділена на кількість партій.

По отриманих масивах графа на критичних шляхах будується оптимальна послідовність агрегованих робіт за допомогою розв'язання задачі МЗМ. Алгоритм розв'язання є оригінальною розробкою лабораторії комбінаторної оптимізації НТУУ «КПІ» під керівництвом д.т.н. проф. О.А.Павлова, що враховує останні досягнення в області проектування ПДС-алго-

ритмів для важкорозв'язуваних комбінаторних задач [2]. У результаті розв'язання задачі МЗМ отримуємо послідовність виконання агрегованих робіт, розбиту на підпослідовності максимального пріоритету (ПМП).

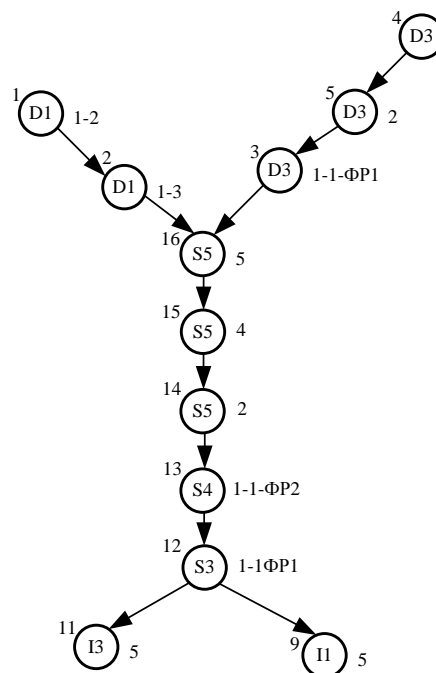


Рис. 6. Граф на критичних шляхах двох завдань (I1 та I3)

Після цього будується новий граф зв'язності, у якому кожна з спільних вершин перетворюється в ланцюжок вершин критичних шляхів завдань зі збереженням відношення передування графа на критичних шляхах. При цьому попередники кожної об'єднаної в графі на критичних шляхах спільної вершини стають попередниками першої (починаючи з листів графа) вершини в ланцюжку, а спадкоємці кожної об'єднаної спільної вершини стають спадкоємцями останньої вершини в ланцюжку.

Наприклад, якщо вершині i графа на критичних шляхах відповідає вершина P_i загального графа, а спільні вершини мають номери 3, 6, і їм відповідають по дві вершини загального графа (позначимо їх умовно P_{31} , P_{32} , P_{61} , P_{62} ; вони здобувають свої власні номери в даній процедурі), то здійснюється перетворення графа на критичних шляхах, показане на Рис. 8.

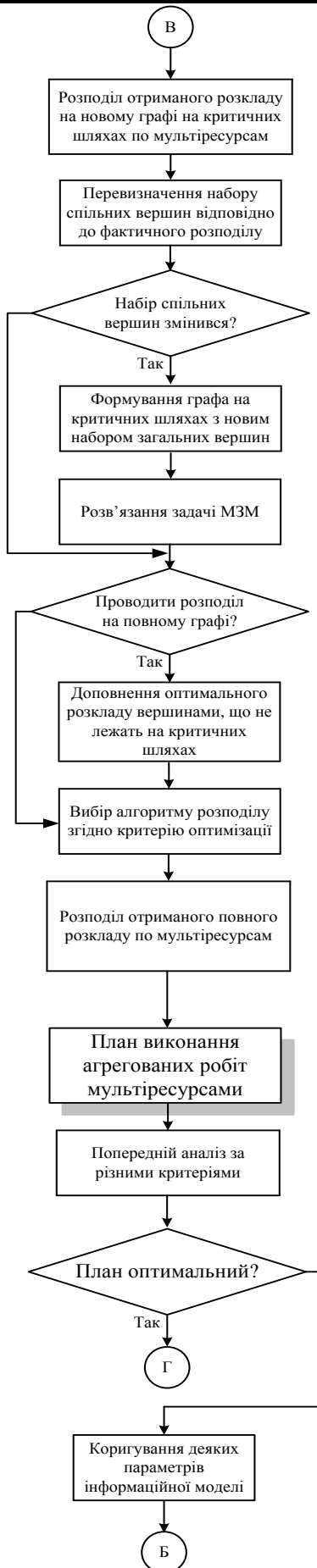
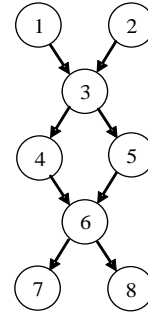
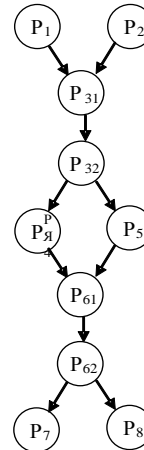


Рис. 7. Рівень II. Побудова плану виконання агрегованих робіт мультіресурсами (ч.2)

Початковий граф на критичних шляхах:



Отриманий граф:



Перенумерація:

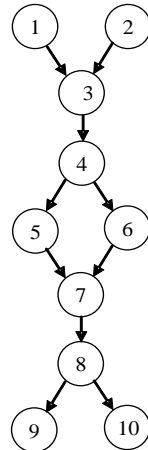


Рис. 8. Приклад перетворення графа в блок 6

Далі виконується розподіл агрегованих робіт побудованого графу критичних шляхів з розбивкою спільних вершин для уточнення інформації про об'єднання спільних вершин на стадії розподілу. У користувача в діалозі запитуються дата початку планового періоду і дата закінчення планового періоду. За календарем робочих днів визначаються номери робочих днів у плановому періоді. По кожному мультіресурсу розраховується фонд часу мультіресурсу в днях, що дорівнює добутку кількості робочих днів у плановому періоді і коефіцієнта змінності.

Процедура розподілу працює для будь-якого вхідного графа (загальний граф зв'язності агрегованих робіт, граф на критичних шляхах чи граф на критичних шляхах з розбивкою спільних вершин). Для правильної роботи відповідно до обраної підзадачі відкриваються відповідні заданому графу масиви зв'язків і вершин. Це можливо завдяки уніфікації їхніх структур. На даному етапі алгоритму виконується розподіл по графу з розбивкою спільних вершин. При виробничому плануванні вводяться наступні припущення:

- Агреговані роботи не розбиваються на партії: при розбивці на партії неможливо ви-

значити фактичний набір спільних вершин, тому під «партією» в алгоритмі треба розуміти «агрегована робота»;

- У зв'язку з тим, що тривалість нерозбитих на партії агрегованих робіт може перевищувати тривалість робочого дня в деяких мультиресурсах, вважається, що всі мультиресурси працюють цілодобово.

Алгоритми розподілу побудовані з використанням алгоритмів Гіфлера-Томпсона [3]. Під завданнями розуміються або агреговані роботи, або партії робіт, залежно від обраної задачі.

Позначення:

P_t – частковий календарний план з $t-1$ призначеного завдання;

S_t^k – множина завдань, готових до призначення на k -ий мультиресурс на стадії t ;

S_{j_k} – можливий найбільш ранній момент початку виконання завдання з S_t^k (S_{j_k} дорівнює моменту завершення попереднього завдання або нулю для завдання без попередників за графом зв'язності);

R_{ik} – i -й інтервал масиву R резервного часу мультиресурсу k , не зайнятий виконанням завдань, призначених на попередніх стадіях;

R_{ik}^H – початок i -го інтервалу;

R_{ik}^K – кінець i -го інтервалу;

$\sigma_{j_k} = \max(R_{ik}^H, S_{j_k})$ – момент початку виконання завдання j_k , призначеного на виконання на інтервалі R_i мультиресурсу k ;

C_{j_k} – момент завершення виконання завдання j_k , призначеного на виконання на інтервалі R_i мультиресурсу k : $C_{j_k} = \sigma_{j_k} + l_{j_k}$.

$\sigma_{j_k}^0$ – мінімально можливий момент початку виконання завдання $j_k \in S_t^k$: $\sigma_{j_k}^0 = \min_k \min_{j \in S_t^k}$

$\sigma_{j_k} \forall k, i: \sigma_{j_k}^0 + l_{j_k} \leq R_{ik}^K$.

$C_{j_k}^0$ – мінімально можливий момент завершення виконання завдання $j_k \in S_t^k$: $C_{j_k}^0 = \min_k \min_{j \in S_t^k} C_{j_k} \forall k, i: R_{ik}^K - l_{j_k} \leq R_{ik}^H$.

Розподіл агрегованих робіт заданого графа (оптимальної послідовності) по мультиресурсах здійснюється з виконанням наступних принципів. Виконується стільки ітерацій, скільки партій агрегованих робіт розраховано (без розбивки на партії – 1 ітерація). На кожному кроці призначається на мультиресурс партія агрегованих робіт з мінімальним часом

звільнення мультиресурсу і мінімальним номером ПМП. Мінімальний час звільнення мультиресурсі партією агрегованих робіт визначається раннім часом початку виконання партії з урахуванням моменту початку виконання завдання плюс тривалість її виконання (з необхідним налагодженням устаткування). Ранній час початку виконання партії визначається максимальним з часів закінчення всіх його попередників по графу, визначених при призначенні попередника на виконання. При призначенні партії шукається перший вільний проміжок часу в рамках фонду часу мультиресурсу, початок якого не раніш, ніж ранній час початку призначуваної партії, а тривалість не менш тривалості виконання партії з переналагодженням. Резерв шукається в «реальному» часі мультиресурсу. Це означає, що враховується не тільки робочий час мультиресурсу, у якому власне йде виконання, але і часи початку і кінця робочих днів, доробків на початок планового періоду, і час початку роботи всіх мультиресурсів (наприклад, 8-ма година ранку).

Алгоритм 1 виконує m стадій та буде компактні [3] розклади.

1. $t = 1, P_1 = \emptyset, \sigma_i = \sigma_1$, де σ_i – i -я ПМП, яка включає всіх попередників по графу G . Формуємо множини S_1^k завдань, у яких немає попередніх та потребуючих виконання в k -ому мультиресурсі, $k = \overline{1, m}$.

2. Вибираємо з множини S_1^k для призначення на виконання завдання j_k з мінімальним часом закінчення виконання.

3. Переходимо до наступної стадії. При цьому:

а) поміщаємо завдання j_k в P_t і, таким чином, створюємо P_{t+1} ;

б) формуємо $S_{t+1}^k, k = \overline{1, m}$, додавши до одного з S_t^k завдання, що безпосередньо слідує за завданням j_k , якщо тільки j_k не останнє в σ_1 , а інші S_t^k залишивши без змін;

в) формуємо масив резервів мультиресурсу k ;

г) покладемо $t = t + 1$.

4. Якщо залишилися непризначені завдання з ПМП №1, то переходимо к п.2. У протилежному випадку переходимо до наступної ПМП і к п.2. Якщо призначені на виконання всі завдання – кінець алгоритму.

Наступна модифікація алгоритму 1 дозволяє одержати незатримуючі розклади. **Алгоритм 2** заснований на наступній евристиці: у п. 2 алгоритму призначається на мультиресурс завдання з мінімальним номером ПМП та мінімальним часом початку виконання, який визначається як $\sigma_{jk} = \max(R_{ik}^H, S_{jk})$; $\sigma_{jk}^0 = \min_k \min_{j \in S_i^k} \sigma_{jk} \forall k, i$; $\sigma_{jk}^0 + l_{jk} \leq R_{ik}^K$.

Алгоритм 3 може застосовуватись для розподілу завдань при оптимізації за критерієм мінімізації запізнення, тобто без порушення директивних строків завдань. При цьому послідовність розглядається з початку, із завдань більш високого пріоритету. На першому кроці розглядається завдання зі списку кінцевих вершин, що входять до складу ПМП №1 і призначається таким чином, щоб момент закінчення його виконання відповідав директивному строку завдання. На кожному наступному кроці призначається на мультиресурс завдання з максимальним часом запуску в мультиресурсі та мініимальному номері ПМП, у яку воно входить. Максимальний час запуску завдання в мультиресурсі визначається найбільш пізнім часом закінчення виконання завдання мінус тривалість його виконання (з необхідним налагодженням). Найбільш пізній час закінчення виконання завдання визначається мінімальним із часів запуску всіх його спадкоємців по графу, визначених при призначенні попередників на виконання. При призначенні завдання шукається перший вільний проміжок часу в рамках фонду часу мультиресурсу, кінець якого не пізніше, ніж найбільш пізній час закінчення призначуваного завдання, а тривалість не менш тривалості виконання завдання з переналагодженням. Резерв шукається в «реальному» часі мультиресурсу. Якщо необхідний для призначення завдання резерв не знайдений у всіх однотипних мультиресурсах, то це означає, що виконання даного завдання не укладається в його директивний строк, про що користувачу видається повідомлення. Користувач при цьому повинен виключити дане завдання з числа комплексів робіт та перерозподілити план виконання робіт.

Після першого розподілу на графі критичних шляхів, проводиться перевизначення на-

бору спільних вершин відповідно до фактичної інформації про розподіл. Уточнення набору спільних вершин графа на критичних шляхах здійснюється тому, що фактична інформація про розподіл, отриманий на попередньому кроці, визначає більш точну модель графа, чим отримана в порівнянні тривалостей виконання з початку критичному шляху.

Це здійснюється наступним алгоритмом: для кожній спільній вершини перевіряються ознаки об'єднання в графі на критичних шляхах та об'єднання при розподілі, і якщо вони не збігаються, то ознака об'єднання в графі на критичних шляхах встановлюється у значення об'єднання при розподілі, ознака необхідності перерозподілу в «Істина».

Якщо набір спільних вершин не змінився, то модель не має потреби в зміні і, отже, потрібно тільки перерозподілити агреговані роботи з розбивкою на партії (при виробничому плануванні) та доповненням до повного графу (див. наступний крок).

Інакше модель перебудовується і шукається нова оптимальна послідовність виконання агрегованих робіт. Для цього повторно виконуються процедури, починаючи з формування графа на критичних шляхах завдань. Для побудови графа використовується набір спільних вершин, отриманий на попередньому кроці.

У результаті блоку оптимізації отримана припустима оптимальна послідовність, що розбита на підпослідовності спадаючого пріоритету. Така послідовність дає мінімальне значення критерію. Однак вона включає тільки агреговані роботи, що лежать на критичних шляхах завдань, а для розподілу плану виконання робіт необхідно врахувати всі агреговані роботи, необхідні для виконання усіх комплексів робіт. Тому для подальшої роботи алгоритму необхідно доповнити отриману оптимальну послідовність агрегованими роботами завдань, що не лежать на критичних шляхах, з присвоєнням їм відповідного номеру ПМП. Весь надграф кожної з агрегованих робіт, що входить до оптимальної послідовності, буде мати той же номер ПМП, що й ця агрегована робота.

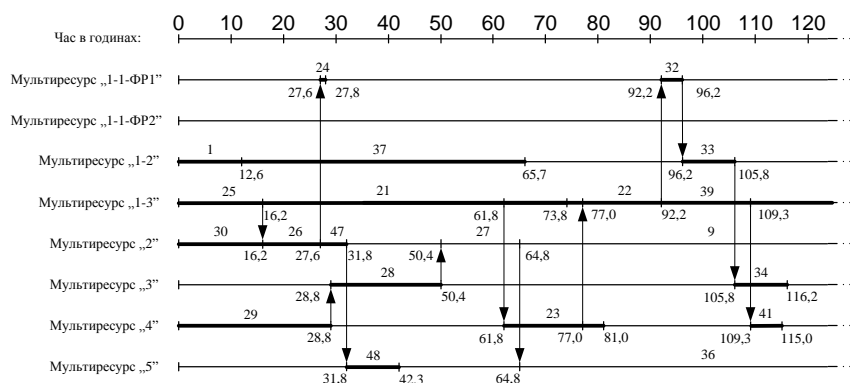


Рис. 9. Результат розподілу плану виконання робіт

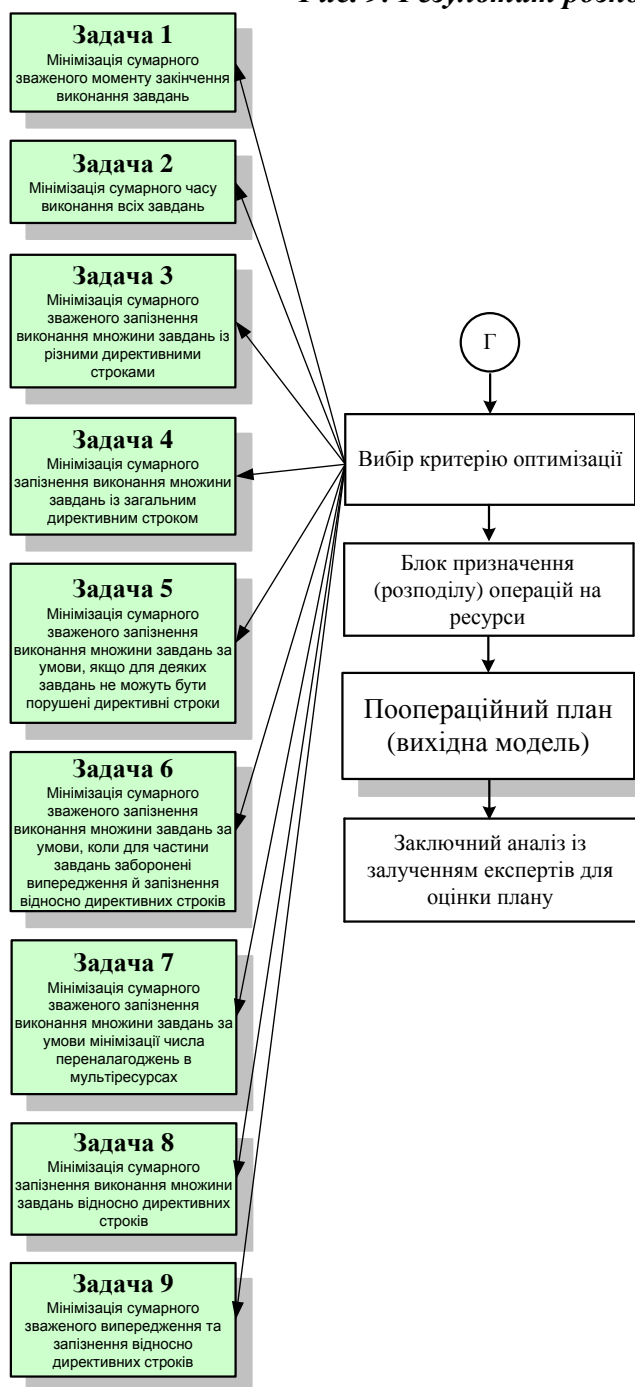


Рис. 10. Рівень III. Розподіл робіт по ресурсах

Розподіл отриманого розкладу по мультиресурсах з прив'язкою до планового періоду виконується за одним з алгоритмів розподілу, описаних вище, за такими виключеннями: алгоритм виконується по загальному графу зв'язності агрегованих робіт чи графу на критичних шляхах, у залежності обраної підзадачі; у виробничому плануванні виконується розбивка агрегованих робіт на партії (кількість ітерацій дорівнює кількості партій та виконується для партій замість однієї ітерації для агрегованих робіт повної тривалості); мультиресурси мають відповідну позмінну роботу, а не цілодобову; не виконується переоб'єднання спільних вершин.

Рівень III. Побудова плану виконання агрегованих операцій мультиресурсами (рис. 10)

Як було сказано раніше, на третьому рівні трирівневої моделі планування здійснюється формування повного плану виконання всіх робіт з розбивкою по ресурсах всіх мультиресурсів і з урахуванням розподілу агрегованих робіт, отриманого на другому рівні. На цьому рівні можуть розв'язуватись оптимізаційні задачі.

Процедури розподілу агрегованих операцій по ресурсах аналогічні алгоритмам розподілу агрегованих робіт по мультиресурсах, описаним вище. Вибір алгоритму розподілу здійснюється залежно від необхідного критерію оптимізації розкладу: для одержання компактних розкладів вибирається Алгоритм 1-АО, для незатримуючих – Алгоритм 2-АО, розкладів без запізнення (для критеріїв, у яких завдання мають директивні строки, що не можна порушувати) – Алгоритм 3-АО. В алгоритмах третього рівня не здійснюється аналіз об'єднання спільних вершин.

Розглянемо на прикладі алгоритм розподілу для одержання компактних розкладів агрегованих операцій (*Алгоритм 1-АО*). Розподіл агрегованих операцій по ресурсах здійснюється за наступними принципами.

Розглядається кожна група однотипних мультиресурсів та здійснюється перебір усіх агрегованих робіт (партій), назначених на виконання у даній групі мультиресурсів. На кожному кроці призначаються на вільне робоче

місце агреговані операції з мінімальним часом закінчення, який визначається як час початку виконання партії плюс тривалість виконання агрегованої операції. За побудовою плану виконання агрегованих робіт, усі ресурси будуть мати достатні резерви для виконання операцій, що лежать на критичному шляху операцій агрегованої роботи. За побудовою, кожна агрегована робота містить ціле число агрегованих операцій рівної тривалості.

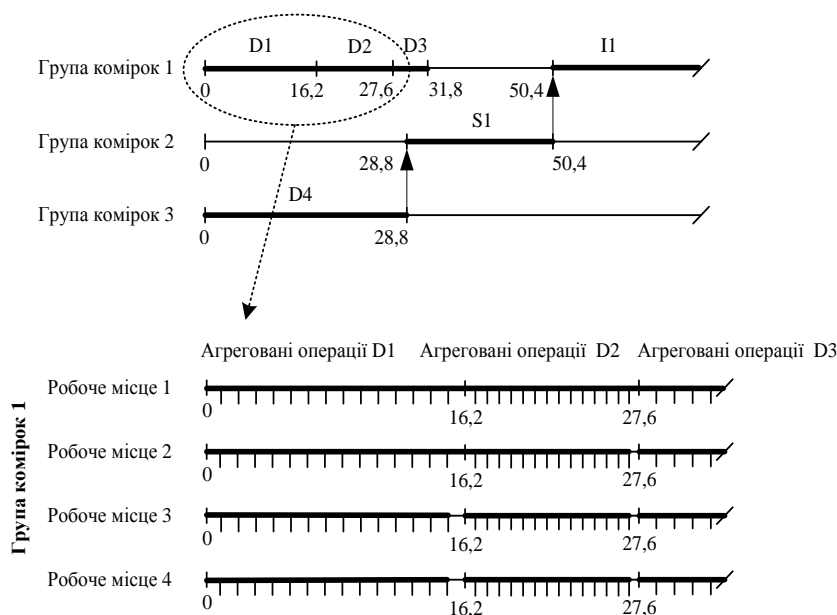


Рис. 11. Приклад розподілу агрегованих операцій по робочих місцях

Схематично процес розподілу агрегованих операцій показаний на рис. 11. Ці резерви можуть бути використані для виконання інших паралельних операцій без переналадження ресурсу. Як можна бачити, у результаті розподілу, через округлення тривалості агрегованої операції при визначенні тривалості агрегованих робіт, у ресурсах можуть виникати резерви.

Висновки

Загальна схема розв'язання задач в багаторівневій системі планування дрібносерійного виробництва в умовах ринку [1] була адаптована для розв'язання задач планування та управління складними об'єктами з МПТПОР.

До таких об'єктів можна віднести широкий клас систем як виробничого, так і невиробничого характеру. Зокрема, на основі створеної моделі авторами вже розроблені комплекси послідовних взаємозв'язаних математичних моделей ієрархічного планування та управління робочим цехом, планування виробництва «на замовлення», планування виробництва дрібносерійного типу; ієрархічного планування виробництва по виготовленню партій, планування та управління проектами. Планується реалізація моделі для будівничих проектів. У статті наведена розширена концептуальна схема інформаційної технології розв'язання задач планування у будь-якому з розглядаємих класів об'єктів управління.

Перелік посилань

1. Павлов О.А., Місюра О.Б., Мельников О.В. Загальна схема розв'язання задач в багаторівневій системі планування дрібносерійного виробництва в умовах ринку / Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: ВЕК+, 2000.– №33.– С.27-33
2. Основы системного анализа и проектирования АСУ: Учеб. пособие /А.А.Павлов, С.Н.Гриша и др.; Под общ. Ред. А.А.Павлова.– К. : Выща шк.; 1991.– 367 с.
3. Конвей Р.В., Максвелл У.Л. Теория расписаний.– М.: Наука, 1975.– 359 с.